

Sakari Vainio

# **TUOTTEEN SUUNNITTELU KOKOONPANTAVUUDEN NÄKÖKULMASTA**

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja: yliopistotutkija Eeva Järvenpää  
Helmikuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Sakari Vainio: Tuotteen suunnittelu kokoonpantavuuden näkökulmasta  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Konetekniikka  
Helmikuu 2020

---

Työn tavoitteena on käsitellä kokoonpantavuutta parantavia suunnitteluperiaatteita, kokoonpantavuuden arviointimetoja ja esitellä näiden asioiden käytännön soveltamista tuotetapausten avulla. Lisäksi työssä analysoidaan suunnitteluperiaatteiden käyttöä tuotetapauksissa. Suunnitteluperiaatteiden käsittely tapahtuu pääosin automaattisen kokoonpanon näkökulmasta, mutta tiettyjä asioita on käsitelty myös manuaalisen kokoonpanon näkökulmasta. Tuotteen suunnittelulle kokoonpantavuuden näkökulmasta on vakiintunut termi DFA eli "Design For Assembly". DFA sisältää suunnitteluperiaatteiden soveltamista tuotteiden kokoonpanoihin sekä niiden kokoonpantavuuden arviointia systemaattisten metodien avulla.

Työhön selvitettiin tietoa kokoonpantavuudesta ja tuotetapauksista kirjallisuuden avulla. Työhön valitut tuotetapaukset ovat kaikki erilaisilta teollisuuden aloilta, jotta kokoonpantavuuden mahdollisuudet tulee käsiteltyä mahdollisimman laajasti. Tärkeimmiksi suunnitteluperiaateiksi tuotetapausten perusteella nousi osien lukumäärän vähentäminen ja asentamisen helppous. Syötettävyttä tai kokoonpanosuuntia ei oltu analysoitu yhdessäkään käsitellyssä tuotetapauksessa. Käsiteltyjen tuotetapausten pohjalta ei kuitenkaan voida tehdä koko teollisuutta koskevia johtopäätöksiä otannan pienuuden vuoksi, mutta ne kuitenkin antavat viitteitä suunnitteluperiaatteiden hyödyntämisestä käytännössä.

Suunnitteluperiaatteiden hyödyntämisellä saavutettiin tuotetapausten perusteella kokoonpanoajan pienentymistä ja kustannussäästöjä. Yhdessä tuotetapauksessa tuotteen kokoonpanoajaa väheni 552 sekunnista 131 sekuntiin, joka on hyvin merkittävä parannus massatuotannossa olevalle tuotteelle.

Avainsanat: DFA, kokoonpantavuus, suunnittelu, tuotesuunnittelu

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto . . . . .	1
2	Kokoonpantavuuden suunnitteluperiaatteita . . . . .	2
2.1	Osien lukumäärän vähentäminen . . . . .	2
2.2	Osien asentamisen helppous . . . . .	3
2.3	Orientoitavuus . . . . .	5
2.4	Syötettävyys . . . . .	5
2.5	Kokoonpanosuunnat . . . . .	7
2.6	Liitokset . . . . .	7
2.7	Modulointi ja räätälöinti . . . . .	9
2.8	Kokoonpano-osaston ja suunnittelijan yhteistyö . . . . .	10
3	Kokoonpantavuuden arviointimetodeja . . . . .	11
3.1	Boothroydin metodi . . . . .	11
3.2	Hitachi Assembly Evaluation Method . . . . .	13
3.3	CSC-kokoonpantavuusmetodi . . . . .	14
3.4	Tiimipohjainen ajattelumalli . . . . .	16
3.5	Yksinkertaistettu suunnittelumetodi . . . . .	17
4	Kokoonpantavuuden tuotetapaukset . . . . .	19
4.1	Tapaus 1: Motorolan viivakoodinlukija . . . . .	19
4.2	Tapaus 2: aurinkokeräin . . . . .	20
4.3	Tapaus 3: ajoneuvon puskuri . . . . .	22
4.4	Tapaus 4: lentokoneen ilmaventtiili . . . . .	23
5	Kokoonpantavuuden suunnitteluperiaatteiden käyttö tuotetapauksissa . . . . .	25
6	Yhteenveto . . . . .	28
	Lähteet . . . . .	30

# 1 JOHDANTO

Tuotantoon suunniteltu tuote on usein myös kokoonpantava. Se voi tapahtua manuaalisesti, täysin automatisoidusti tai jotain siltä väliltä. Kokoonpantavuuden suunnittelulla voidaan pienentää kokoonpanon kustannuksia ja parantaa tuotteiden laatua (Kocabiçak 1999). Usein tuotteen osien lukumäärä pienenee, joten myös varastointi on yksinkertaisempaa. Tuotteiden kokoonpantavuutta suunniteltaessa päämääränä on tehdä tuotteen kokoonpantavuus mahdollisimman helpoksi jo suunnitteluvaiheessa (Iwaya et al. 2013). Kokoonpantavuuden suunnittelulle on vakiintunut termi "DFA", joka tulee sanoista "Design For Assembly".

Työn tavoitteena on käsitellä eri suunnitteluperiaatteita tuotteen kokoonpantavuuden parantamiseen ja tarkastella niiden käyttöä tuotekehitystapauksissa. Lisäksi työssä esitellään kokoonpantavuuden arvioinnissa käytettyjä metodeja. Työn lopussa pyritään vertailemaan eri suunnitteluperiaatteiden käyttöä tuotetapauksissa. Tarkoituksena on havainnollistaa lukijalle kokoonpantavuuden suunnittelun mahdollisuuksia ja hyötyjä.

Työ on kirjallisuuskatsaus ja siihen on koottu tietoa mahdollisimman monipuolisista ja luotettavista lähteistä. Työhön on valikoitu muutamia perinteisiä DFA-metodeja ja niitä täydentämään on valittu uudempia metodeja. Työn loppupuolella käsiteltävät tuotetapaukset on pyritty valitsemaan eri teollisuuden aloilta, jotta lukijalle muodostuisi mahdollisimman monipuolinen käsitys DFA:n hyödyistä.

Työn ensimmäinen osio käsittelee kokoonpantavuuden suunnitteluperiaatteita. Osiossa käydään läpi yleisimpiä periaatteita, joita suunnittelija voi tuotteita suunniteltaessa ottaa huomioon. Tarkoituksena on käsitellä automaattisesti ja käsin tapahtuvaa kokoonpanoa, sillä niiden välillä on vain pieniä suunnittelueroja. Suunnitteluperiaatteita pidemmälle kokoonpantavuutta käsitellään työn toisessa osiossa, jossa tarkastelun kohteena on erilaiset DFA-metodit.

DFA-metodien käsittely koostuu yleisimmin käytetyistä systemaattisista kokoonpantavuuden suunnittelumetodeista. Osiossa käsitellään eri puolilla maailmaa kehitettyjä metodeja, joilla tuotteen kokoonpantavuutta voidaan parantaa ja kehitystä mitata. Useita metodeja on sovellettu käytäntöön luvussa 4.

Luvussa 4 käydään läpi neljä eri tuotekehitystapausta teollisuudesta, joissa on käytetty jotakin DFA-metodia. Osion tarkoituksena on havainnollistaa lukijalle DFA-metodien konkreettisia hyötyjä tuotteen kokoonpantavuudelle. Luvussa 5 vertaillaan eri suunnitteluperiaatteiden käyttöä käsitellyissä tuotetapauksissa.

## **2 KOKOONPANTAVUUDEN SUUNNITTELUPERIAATTEITA**

Kokoonpantavuuden suunnittelulla tavoitellaan tuotetta, joka olisi mahdollisimman helppo ja yksinkertainen kokoonpantava. "Halvin ja ongelmattomin kokoonpano on kokoonpano, jota ei ole." (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988, s. 5) Kokoonpanon tarve voidaan poistaa esimerkiksi osia yhdistämällä tai valmistustekniikkaa muuttamalla. Khanin (2008) mukaan DFA lyhentää tuotekehitysprosessia, pienentää kehityskustannuksia ja mahdollistaa sulavan siirtymisen prototyypivaiheesta tuotantovaiheeseen.

Boothroydin et al. (2010) mukaan tuotteen kokoonpantavuus tulisi ottaa huomioon koko tuotteen suunnitteluprosessin ajan, mutta erityisen tärkeä se on suunnittelun alkuvaiheessa. Vaikkakin DFA on Boothroydin mukaan tärkeää käsin kokoonpantaville tuotteille, on sen käyttäminen hyvin olennainen osa automaattisesti kokoonpantavia tuotteita. Usein pitääkin paikkansa, että automaattisesti kokoonpantava tuote on myös helposti kokoonpantavissa käsin (Andreasen 1988; Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988). Se ei tosin pidä paikkaansa erityistä voimaa tai tarkkuutta vaativille tehtäville (Andreasen 1988, s. 133).

Yleensä kuitenkin automaattisesti kokoonpantava tuote asettaa tuotteen suunnittelulle enemmän vaatimuksia, joten tässä työssä kokoonpantavuutta käsitellään ensisijaisesti siitä näkökulmasta. Seuraavaksi käsitellään tärkeimmät periaatteet, jotka tulisi tuotteen kokoonpantavuutta suunniteltaessa ottaa huomioon.

### **2.1 Osien lukumäärän vähentäminen**

Yksi tärkeimmistä periaatteista tuotteen kokoonpantavuuden parantamisessa on osien lukumäärän minimointi (Eteläaho et al. 1999, s. 8). Jokainen kokoonpanon osa pitää saada oikeaan asentoon, kuljettaa paikoilleen ja kiinnittää (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988, s. 5). Osat pitää myös varastoida, testata, kierrättää ja kuljettaa, joten yhdenkin osan poistaminen voi vaikuttaa paljon kiinteisiin kuluihin (Lempiäinen & Savolainen 2003).

Osien lukumäärää voidaan vähentää yhdistämällä useampia osia yhdeksi (Eteläaho et al. 1999, s. 8). Lempiäinen ja Savolainen (2003) huomauttavat osien vähentämisen saattavan lisäävän osien monimutkaisuutta, mutta heidän mielestään siitä ei nykypäivän tietokoneohjatussa koneistamisessa tarvitse olla huolissaan. Osia voidaan yhdistää esimer-

kiksi eri valmistustekniikalla, sillä muun muassa ruiskupuristaminen mahdollistaa varsin monimutkaisten kappaleiden valmistamisen (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988, s. 7). Ruiskuvalaminen tosin vaatii muottien tekemisen, joten sen taloudellinen kannattavuus täytyy arvioida tarkkaan.

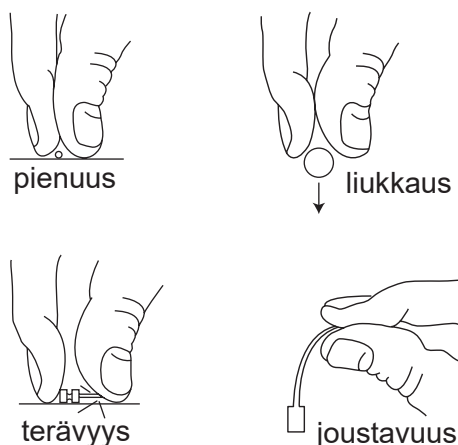
Kokoonpanossa samojen materiaalien käyttö usein helpottaa osien yhdistämistä (Eteläaho et al. 1999, s. 8). Materiaalivalinnalla voidaan vaikuttaa esimerkiksi osan jäykkyyteen, jolloin kahdella osalla aikaansaatu toiminto voikin olla mahdollista saavuttaa vain yhdellä osalla (Andreasen 1988).

Osien lukumäärän minimointiin on kehitetty myös systemaattisia metodeja, jotka keskittyvät osan tarpeellisuuteen kokoonpanossa. Näitä metodeja käydään läpi tässä työssä luvussa 3.

## 2.2 Osien asentamisen helppous

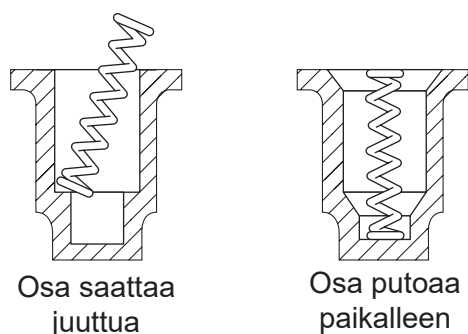
Osien asentamisella tarkoitetaan tässä työssä osaan tarttumista, asemointia ja osasta irrottamista. Kokoonpanotyön helpottamiseksi kaikki nämä vaiheet tulisi olla mahdollisimman helposti toteutettavissa.

Osiin tarttumisen helpottaminen on tärkeää sekä manuaalisessa että myös automaattisesti tehtävässä kokoonpanossa. Boothroydin et al. (2010) mukaan osien suunnittelussa tulisi välttää liian pieniä, liukkaita, teräviä tai joustavia osia. Näitä ominaisuuksia on havainnollistettu kuvassa 2.1. Lempiäinen ja Savolainen (2003) esittävät osan olevan pieni, kun se on kooltaan alle 6 mm. Varsinkin pienten osien käsittely on automaattisessa kokoonpanossa helpompaa kuin käsin tapahtuvassa, sillä Lempiäisen ja Savolaisen (2003) mukaan kaikki pienet osat vaativat käsittelyyn työkalun.



**Kuva 2.1.** Osan käsittelyä hankaloittavia tekijöitä, mukaillen (Boothroyd et al. 2010, s. 75).

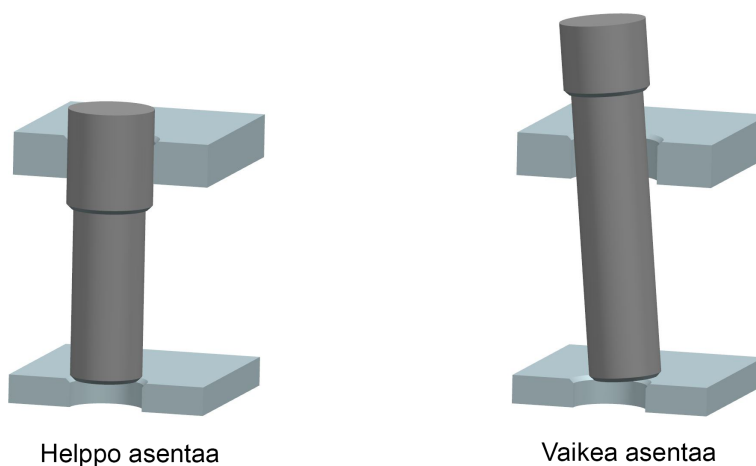
Osiin suunnitellut urat, viisteet ja pyöristykset helpottavat kokoonpanotyötä (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988; Andreasen 1988; Eteläaho et al. 1999). Eteläahon et al. (1999) mukaan yleisin ohjaustyyppi on viiste ja paras ohjautuvuus saavutetaan, kun viisteet ovat asennettavassa ja runko-osassa. Ohjauksien tavoitteena on kompensoida osien



**Kuva 2.2.** Viisteiden käyttö helpottaa asennustyötä, mukaillen (Boothroyd et al. 2010, s. 75).

ja kokoonpanotyön epätarkkuudet (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988, s. 25). Automaattisessa kokoonpanossa epätarkkuudet syntyvät kokoonpanolaitteistosta, kun taas käsin tapahtuvassa kokoonpanossa aiheuttajia ovat ihminen ja työkalut. Ohjauksien hyvällä suunnittelulla pyritään tilanteeseen, jossa osia ei tarvitsisi ennen asennusta asemoida tarkasti, kuten kuva 2.2 havainnollistaa.

Huono näkyvyys osien asennusalueelle on kokoonpanossa mahdollinen ongelmakohta (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 74) Puutteellinen näkyvyys tai monen yhtäaikaisen ohjauksen toteuttaminen yhtä aikaa voi tehdä osasta vaikeamman asennettavan (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988; Andreassen 1988; Lempiäinen & Savolainen 2003) Ongelmaa on havainnollistettu kuvassa 2.3.



**Kuva 2.3.** Asennettavat osat saattavat myös itse aiheuttaa huonon näkyvyyden asennettavaan paikkaan. Ohjauspintojen oikealla suunnittelulla osien asentaminen helpottuu.

Osan irrottamiseen sisältyy riittävän tilan varaaminen työkalulle ja osan pysyminen paikoillaan ennen kiinnittämistä. Osa ja kokoonpano tulisi suunnitella niin, että esimerkiksi mahdolliset työkalujen leuat mahtuvat avautumaan senkin jälkeen, kun osa on kokoonpanossa paikoillaan (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988, s. 26).

Osien paikallaan pitäminen kiinnityksen ajan vaikeuttaa kokoonpanotyötä (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988; Lempiäinen & Savolainen 2003). Lempiäisen ja Savolainen (2003) mukaan käsin tapahtuvassa kokoonpanossa korkeintaan yksi käsi voi pitää osaa paikallaan ja toinen tehdä liitoksen. Automatisoidussa kokoonpanossa osan paikallaan pitäminen aiheuttaa todennäköisesti yhden työvaiheen lisää.

## 2.3 Orientoitavuus

Orientoitavuudella tarkoitetaan osien saamista haluttuun asentoon (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988, s. 21). Automaattiseen ja käsin tapahtuvaan orientointiin sopivat monet samat suunnitteluperiaatteet. Orientoitavuuteen vaikuttaa eniten osan symmetrisyys ja ulkopintojen muodot. Lisäksi osien tasalaatuisuus on yksi orientoitavuuteen vaikuttava tekijä. (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988, s. 23).

Symmetrisyyden tavoittelu on tärkeää osan orientoinnin kannalta. Mitä enemmän osassa on symmetriaa, sitä vähemmän sitä tarvitsee orientoida (Andreasen 1988; Lempiäinen & Savolainen 2003). Symmetrisyyden lisäystä on havainnollistettu kuvassa 2.4a. Kuitenkin, jos osaa ei pystytä suunnittelemaan täysin symmetriseksi, pitäisi epäsymmetrisyyttä lisätä, kuten kuvassa 2.4b (Boothroyd et al. 2010, s. 74). Vain vähän symmetrinen osa saattaa vaikeuttaa orientoimista ja saattaa nostaa kustannuksia. Orientoinnin tarkastamiseksi epäsymmetriseen osaan tulisi suunnitella ulkopuolisia muotoja joilla asento varmistetaan. (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988, s. 21) Ulkopuoliset muodot voivat olla esimerkiksi viisteitä tai ulokkeita (Andreasen 1988). Ulokkeiden lisäys auttaa osan saamista tiettyyn asentoon sekä automaattisesti, että ihmisen asentamana (Boothroyd et al. 2010).

Osien epätasainen laatu saattaa vaikeuttaa orientointia. Vääränlaiset toleranssit saattavat aiheuttaa koneen pysähtymisen esimerkiksi osien jumiutumisen seurauksena (Andreasen 1988). Liian tiukat toleranssit saattavat kuitenkin aiheuttaa laadunvalvonnassa tarpeettoman korkean hylkäysprosentin (Eteläaho et al. 1999, s. 15).

## 2.4 Syötettävyys

Syötettävyydellä tarkoitetaan kokoonpanoautomaatiossa tapahtuvaa osien kuljetettavuutta ja syöttämisen helppoutta asennuslaitteille. Syöttämisen tavoitteena on saada osa asennuslaitteelle halutussa asennossa ja luotettavasti (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988).

Pienille osille voidaan usein käyttää tärysyöttöä, jossa iso määrä osia saadaan eroteltua toisistaan (Lempiäinen & Savolainen 2003). Tärysyötön onnistumiseksi syötettävien osien pitää olla mahdollisimman samanlaisia, jotta tärysyötin toimii halutulla tavalla (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 121). Myös osissa olevat purseet tai epäsäännölliset piirteet voivat hankaloittaa tärysyöttöä (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988). Osan oikea asento voidaan varmistaa erilaisin sensorein ja väärässä asennossa olevat osat

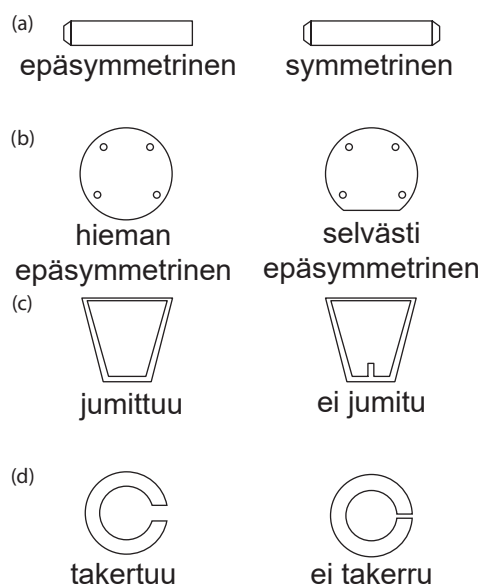


voidaan palauttaa tärymaljaan (Andreassen 1988).

Erilaisten jousien ja hakasten syöttäminen saattaa ollaa hankalaa hakautumisen takia (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 125). Kierrejouset, jousilaatat ja lukiterenkaat tulisi suunnitella muodoltaan suljetuiksi, jotta hakautuminen olisi mahdollista minimoida (Andreassen 1988). Takertumista havainnollistaa kuva 2.4d. Jos osaa ei ole mahdollista suunnitella hakautumisen estämiseksi, voidaan niiden erotteluun käyttää konetta (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 126).

Kuljettamisen helpottamiseksi osaan voidaan suunnitella reikiä tai olakkeita, joista osaa voidaan ripustaa. Ripustuskohdat tulisi suunnitella selvästi painopisteen yläpuolelle, jotta osat olisivat painovoiman vaikutuksesta kaikki samassa asennossa. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 127)

Erilaiset pyörähdyssymmetriset ja kartiomaiset osat saattavat pinotessa jumiutua toisiinsa, joka tulisi kuvan 2.4c mukaisilla suunnitteluratkaisuilla estää. Osien takertuminen estää automaattisen käsittelyn, jolloin se on tehtävä manuaalisesti (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988).



**Kuva 2.4.** Osan käsittelyyn vaikuttavia geometrisia ominaisuuksia, mukaillen (Boothroyd et al. 2010, s. 75).

Automaattisessa kokoonpanossa yhdeksi tarkastelun kohdaksi nousee osien laatuvaatimukset (Andreassen 1988). Käsien tapahtuvassa kokoonpanossa ihminen pystyy kokeilemaan osan sopivuutta kokoonpanoon ja ottamaan tarvittaessa uuden osan, toisin kuin automaattinen järjestelmä (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988, s. 5). Nykypäivänä erilaiset anturit ovat kuitenkin edistyneempiä, joten se olisi todennäköisesti mahdollista, mutta veisi aikaa kokoonpanolinjastolla.

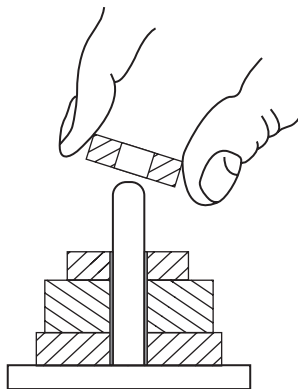
## 2.5 Kokoonpanosuunnat

Tuotteen suunnittelussa tulisi pyrkiä rakenteeseen, jossa kaikki kokoonpanoliikkeet voitaisiin toteuttaa lineaarisina ja mieluiten vain ylhäältä alaspäin (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988; Lempiäinen & Savolainen 2003). Varsinkin automaattiselle kokoonpanolle muiden kuin lineaaristen liikkeiden tekeminen on joko mahdotonta tai paljon kalliimpaa (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988, s. 8).

Ihmisen toimesta käsin kokoonpantaessa on tarpeen ottaa huomioon ihmisen nosto- ja kokoonpanovoima, jotta kokoonpano on mahdollista toteuttaa (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 72). Automaattisella kokoonpanolla voimat eivät ole niin keskeisessä osassa.

Erilaisten johtojen tai letkujen pujottaminen kokoonpanoon kokoonpanovaiheessa on usein hankalaa muista suunnista kuin ylhäältä. Kokoonpanoautomaatiota voidaan harvoin käyttää sellaisessa kokoonpanossa, jossa osien pujottaminen vaatii kahta kättä. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 72)

Tuotteen suunnittelu pinottavaksi yksinkertaistaa usein kokoonpanoa, sillä kaikki osat liitetään kokoonpanoon ylhäältä päin (Andreasen 1988). Tasomainen rakenne helpottaa myös purettavuutta, sillä asennus- ja purkusuunnat ovat samoja (Eteläaho et al. 1999, s. 13). Boothroydin et al. (2010) mukaan vieläpä yhden akselin suuntainen pyramidiomainen kokoonpano olisi suositeltava. Pyramidimaista kokoonpanoa havainnollistaa kuva 2.5, jossa osien koko pienenee kokoonpanon edetessä.



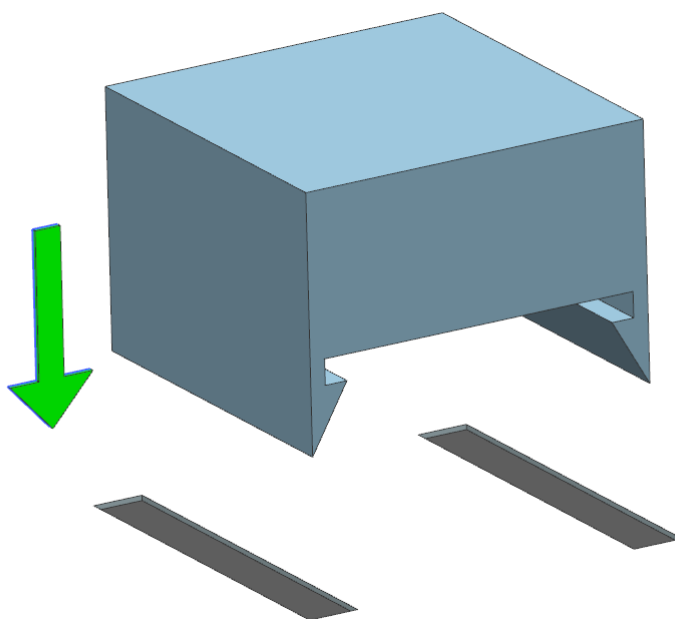
**Kuva 2.5.** Yhden akselin suuntainen pyramidikokoonpano, mukaillen (Boothroyd et al. 2010, s. 77).

## 2.6 Liitokset

Jokainen liitos tuotteen rakenteessa todennäköisesti vaikeuttaa kokoonpanotyötä (Lempiäinen & Savolainen 2003). Liitoksia voidaan yksinkertaistaa integroimalla liitoselimet osaksi liitettäviä osia (Eteläaho et al. 1999). Liitoselimä ovat esimerkiksi ruuvit tai muut ainoastaan osien yhteenliittämiseen tarkoitettut osat. Liitoselimien integrointi voi kuitenkin johtaa tuotteen vaikeampaan purettavuuteen (Eteläaho et al. 1999, s. 12)

Napsausliitos yhdistää osan ja sen liitoselimet toisiinsa materiaalin elastisuuden avulla.

Napsausliitoksessa hyödynnetään usein muovia tai ohutlevymetallia tarvittavan elastisuuden saavuttamiseksi (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 112). Napsausliitos on kokoonpanoautomaatiossa suosittu liitostapa sen lineaarisen liittämistavan vuoksi, kuten kuva 2.6 havainnollistaa (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988; Lempiäinen & Savolainen 2003). Eteläahon et al. (1999) mukaan napsausliitoksesta on hyvällä suunnittelulla mahdollista saada suhteellisen luja. Lempiäinen ja Savolainen (2003) huomauttavat kuitenkin napsausliitoksen suunnittelun olevan vaativa suunnittelutehtävä.



**Kuva 2.6.** Napsausliitoksen toimintaperiaate.

Liimaliitos ei vaadi liitoksen tekemiseen erillisiä kiinnitysosia (Eteläaho et al. 1999, s. 12). Liimaliitos muodostaa osien rajapintaan tiivisteen, joka auttaa suojaamaan korroosiolta. Liima myös täyttää pinnan epätasaisuuksia, jolloin rasitus kohdistuu suuremmalle pinta-alalle kuin mekaanisissa kiinnittimissä. Tällöin rasitusjakauma on tasaisempi ja suuria kuormituskohtia ei synny yhtä helposti. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 108) Huomatavana haittana liimaliitoksessa on vaikeasti purettavuus, joka hankaloittaa mahdollisia huoltotoimenpiteitä (Eteläaho et al. 1999, s. 12). Lisäksi liiman annostelu on tarkkaa, jonka seurauksena liiman levitys roboteilla on yleistynyt (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 111).

Ruuviliitos on yleinen liitostyyppi varsinkin silloin, kun liitos on tarpeellista huollon takia avata (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 101). Aluslevyllisiä ruuveja ei kuitenkaan tulisi käyttää automaattisessa kokoonpanossa, sillä niiden käsittely on hankalaa (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988; Lempiäinen & Savolainen 2003). Automaattisessa kokoonpanossa ei ole myöskään järkevää käyttää muttereita, jolloin kierteet on tehty ruuvattavaan kappaleeseen tai käytetään itsekierteittäviä ruuveja. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 102)

Ruuviliitoksella on mahdollista vaimentaa tuotteen sisäosaan kohdistuvaa värinää. Värinää kiinnitettävän osan ja runkokappaleen välillä on lisäksi mahdollista pienentää kumisten vaimentimien avulla. Tiiviyden saavuttamiseksi ruuviliitoksessa täytyy käyttää paljon ruuveja, toisin kuin liimaliitoksessa. Jokaisen ruuvireiän reunoille muodostuu jännityshuiput, sekä mahdollinen paikka korroosiolle pintakäsittelyn rikkoutumisen vuoksi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 102)

Liitostyyppin valinnassa tulee ottaa huomioon liitoksen vaadittu kestävyys, kokoonpantavuus ja huollettavuuden tarve (Eteläaho et al. 1999). Monet liitostavat eivät salli liitoksen avaamista ollenkaan, mutta ne ovat siitä syystä usein kaikkein lujimpia. Esimerkkejä tällaisista liitostavoista ovat hitsaus ja niittaus. (Lempiäinen & Savolainen 2003) Jos kokoonpanossa joudutaan käyttämään ruuveja, tulisi niiden olla standardikokoisia ja mahdollisuuksien mukaan samanlaisia koko tuotteessa ja tuoteperheessä (Eteläaho et al. 1999, s. 13). Samoja osia käyttämällä mahdollistetaan säästöt varastointi- ja työkalukustannuksissa.

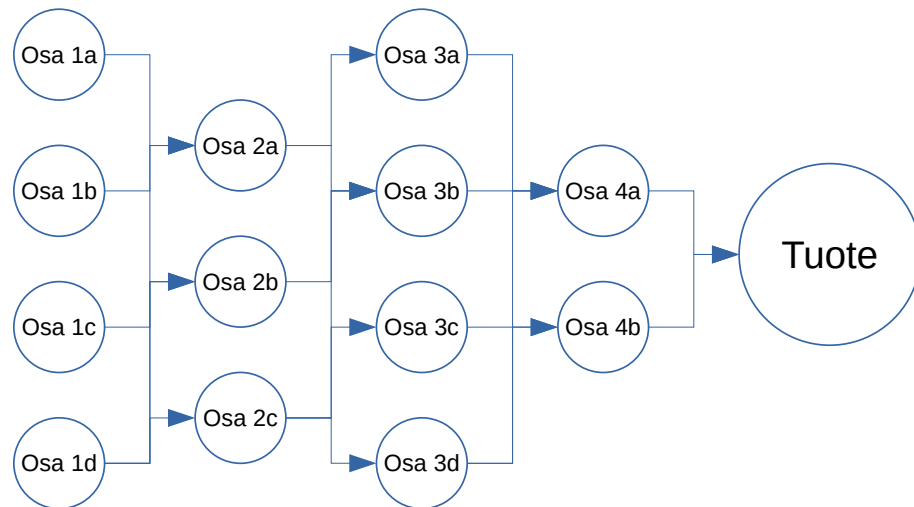
## 2.7 Modulointi ja räätälöinti

Tuotteen suunnittelu modulaariseksi tarkoittaa tuotteen jakamista kokoonpanoiltaan sellaisiksi kokonaisuuksi, että tuotetta voidaan räätälöidä ja huoltaa moduuleja vaihtamalla (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 47). Moduulilla tarkoitetaan tässä työssä osakokoonpanoa, joka liitetään osaksi jotain suurempaa kokoonpanoa. Modulaarisuudella tavoitellaan eri varianttien helpompaa valmistusta ja samojen osien käytön lisäämistä. (Eteläaho et al. 1999, s. 14). Moduloinnilla voidaan siten parantaa tuotteen standardisointia (Kauppinen 1983, s. 10).

Modulaarinen tuote rakentuu siis moduuleista, jotka on tehty helposti vaihdettaviksi. Näitä moduuleja eri tavoin yhdistelemällä voidaan saada tuotteesta useita variantteja, jota havainnollistetaan kuvassa 2.7 (Andreasen 1988). Mitä myöhempään vaiheeseen tuotteen lopullisessa kokoonpanossa modulaarisuus voidaan ulottaa, sitä enemmän tuotevariantteja on mahdollista valmistaa (Eteläaho et al. 1999, s. 14).

Modulaarisuus mahdollistaa hyvin myös tuotteiden räätälöinnin. Tuotteen räätälöinti tulisi kuitenkin toteuttaa kokoonpanossa mahdollisimman lopussa, jotta pystyttäisiin tuottamaan suurempia määriä perusosia (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 46). Kaikkein eniten erilaisia tuotevariantteja saadaan, jos kaikkia moduuleja pystytään yhdistelemään keskenään (Eteläaho et al. 1999, s. 14). Lempiäisen ja Savolaisen (2003) mukaan moduulien sisäiset johdotukset ja kaapeloinnit eivät saa häiritä kokoonpantavuutta. Myös moduulien välisten liitosten määrä tulisi minimoida (Sähkö- & elektroniikkateollisuusliitto 1988). Lempiäinen ja Savolainen (2003) huomauttavat, että myös alikokoonpanojen kiinnitystavat tulisi standardisoida. Heidän mukaansa tuote, jossa on 10 samanlaista osaa on halvempi valmistaa, kuin tuote jossa on 5 erilaista osaa.

Laadunhallintaa helpottaa, jos tuotteen eri moduulit on testattavissa erikseen. Eri moduuleja voidaan silloin testata myös yhtäaikaan (Andreasen 1988). Lempiäisen ja Savolaisen (2003) mukaan varsinkin kokoonpanon loppupuolella tapahtuvat räätälöinnit ovat



**Kuva 2.7.** Modulaarisuudella voidaan saavuttaa paljon eri tuotevariaatioita pienellä määrällä osia. Kuvan osilla on mahdollista valmistaa 96 erilaista tuotevariaatiota, jos kaikkien sarakkeiden osat ovat keskenään vaihtokelpoisia.

todennäköisesti yksinkertaisempia kuin jo kasattu peruskokoonpano, joten ne kannattaa testata erikseen. Testausta varten räätälöidyt osat pitää suunnitella myös ilman peruskokoonpanoa toimiviksi. (Lempiäinen & Savolainen 2003, s. 47)

## 2.8 Kokoonpano-osaston ja suunnittelijan yhteistyö

Suunnittelijan ja kokoonpanijan välillä tulisi olla yhteistyötä. Suunnittelijasta poiketen työntekijä kokoonpano-osastolla saattaa pystyä toteamaan onko osa mahdollista kokoonpanna automaattisesti (Andreasen 1988). Tiiviimpi yhteistyö saattaa alentaa kustannuksia ja parempien tulosten saavuttaminen on todennäköisempää. (Eteläaho et al. 1999, s. 15)

Yhteistyön lisäämiseksi on mahdollista perustaa työryhmiä, joissa olisi mahdollisimman yhteistyöhalukkaita ja osaavia ihmisiä. Suunnitteluvirheiden ratkaiseminen mahdollisimman aikaisin säästää todennäköisesti aikaa ja rahaa. (Eteläaho et al. 1999, s. 15) Tiimipohjaista DFA-metodia on kehittänyt muun muassa Appleton ja Garside (2000), jota käsitellään työssä myöhemmin.

### 3 KOKOONPANTAVUUDEN ARVIOINTIMETODEJA

DFA-ajattelu ja suunnitteluperiaatteet pelkästään ovat riittämättömiä hyvään suunnittelu-työhön. Pelkkien periaatteiden seuraaminen ei kerro mitään suunnitteluratkaisun onnistuneesta toteuttamisesta. Toisekseen suunnittelijalla ei ole mahdollisuutta tietää, mitkä käytetyistä suunnittelupäätöksistä paransivat kokoonpantavuutta. Suunnitteluperiaatteita seuraamalla suunnittelija tuottaa todennäköisesti parempia tuloksia kuin ilman niitä, mutta tavoitteena tulisi olla mahdollisimman helposti kokoonpantavien tuotteiden suunnittelu. Näiden ongelmien takia tuotesuunnitteluun on kehitetty systemaattisia metodeja, jotta resurssit pystyttäisiin kohdistamaan oikeaan suunnitteluvaiheeseen. (Boothroyd et al. 2010)

Professori Geoffrey Boothroyd kehitti 1970-luvulla kokoonpantavuuden suunnittelun metodia, jonka pohjalta termi "Design For Assembly" esiteltiin (Leaney & Wittenberg 1992). Kokoonpantavuutta oli huomioitu suunnittelussa jo aiemmin, mutta silloin ajattelu kohdistui yksittäisiin suunnittelijan valintoihin, joita käsiteltiin tämän työn aiemmassa luvussa (Kauppinen 1983). Tässä osiossa käsitellään viittä eri metodia tuotteiden kokoonpantavuuden parantamiseen. Metodeissa käytetään parantamisen pohjana luvussa 2 esiteltyjä suunnitteluperiaatteita. Näkökulma metodeihin on vertaileva, eikä sen ole tarkoitus toimia käsikirjana niiden yksityiskohtaiseen käyttämiseen.

#### 3.1 Boothroydin metodi

Ensimmäisiä systemaattisia menetelmiä DFA-ajattelun toteuttamiseen esitteli Massachusettsin yliopiston professori Boothroyd. Hänen metodiaan voidaan soveltaa kokoonpanoihin jotka tapahtuvat manuaalisesti tai automatisoidusti.

Riippumatta käytettävästä kokoonpanomenetelmästä, ensimmäinen keino parantaa tuotteen kokoonpantavuutta on vähentää kokoonpanon osien määrää. Mahdollisuuksia osien vähentämiseen voidaan etsiä arvioimalla jokaisen osan tarpeellisuus tuotteen toiminnassa. Jos osa ei ole tuotteen toiminnallisuudelle kriittinen, pitäisi se pyrkiä poistamaan kokoonpanosta tarpeettomana. (Leaney & Wittenberg 1992)

Boothroydin metodissa osan välttämättömälle kuulumiselle kokoonpanoon voi olla 3 syytä. (Lempiäinen & Savolainen 2003). Ensimmäisenä syynä on osan liike suhteessa jo kokoonpantuihin osiin (Leaney & Wittenberg 1992). Tästä on esimerkkinä pyörivän akselin ja liukulaakerin välillä tapahtuva liike. Toinen syy liittyy osien eri materiaaleihin, kuten sähköjohdossa eriste- ja johdemateriaali. (Lempiäinen & Savolainen 2003) Viimeisenä

syynä esitetään osan mahdollistavan tuotteen kokoonpanemisen tai purkamisen. Jokaisen osan kohdalla syyt käydään läpi ja arvioidaan onko osa välttämätön. Osan ollessa tarpeeton saa se teoreettisen arvon 0. Jos osa todetaan kokoonpanolle välttämättömäksi, annetaan osalle teoreettiseksi arvoksi 1. (Leaney & Wittenberg 1992) Osat jotka todetaan kokoonpanolle tarpeettomiksi tulisi pyrkiä integroimaan toisiin osiin tai poistamaan kokoonpanosta (Boothroyd et al. 2010). Tarpeellisten osien määrää käytetään tässä työssä myöhemmin suunnittelun tehokkuuden arvioinnissa.

Yksikään syy ei ota kantaa tuotteen ulkonäköön, joten kaupallisiin tuotteisiin suunnitellaan tarkoituksella osia, joilla ei ole muuta tarkoitusta kuin tuotteen visuaalinen näyttävyys. (Lempiäinen & Savolainen 2003)

Boothroydin metodissa osien käsiteltävyyden ja asentamisen arviointi tapahtuu taulukoiden avulla, joita on erikseen käsin, automatisoidusti ja roboteilla tapahtuvalle kokoonpanolle. Taulukoista voidaan lukea osan keskimääräinen käsittely- tai asennusaika tiettyjen ehtojen mukaan. Käsiteltävyyteen vaikuttaa esimerkiksi osan paksuus, koko, symmetrisyys ja paino. Asentamisen arvioinnissa otetaan huomioon osan toleranssit, kiinnitystapa ja paikottuminen. (Boothroyd et al. 2010)

Taulukoiden käyttö ei anna aina tarkinta arviota tietylle osalle. Joissain osissa taulukko antaa todellista pienemmän ajan, kun taas joissakin tapauksissa todellista suuremman ajan. Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että normaaleissa olosuhteissa virheet kumoavat toisensa, jolloin arvioitu kokonaisaika on lähellä todellista. (Boothroyd et al. 2010)

Kokoonpanon tehokkuuden arviointi on pakollinen osa DFA-metodin toteuttamista. Boothroyd on kehittänyt tehokkuuden arviointiin kokoonpantavuusindeksin, jonka avulla tehokkuutta voidaan arvioida. Mitä suurempi indeksin arvo on, sitä onnistuneempi tuote on kokoonpantavuuden kannalta. Kokoonpantavuusindeksiin vaikuttaa osien määrä tuotteessa, sekä osien käsittelyn, asentamisen ja kiinnityksen helppous. Kokoonpantavuusindeksi voidaan laskea seuraavan kaavan mukaan

$$E_{kokoonpantavuus} = \frac{N * t_{kesk}}{t_{kok}}, \quad (3.1)$$

jossa  $N$  on teoreettinen osien määrä,  $t_{kesk}$  on yhden osan peruskokoonpanoaika ja  $t_{kok}$  on tuotteen arvioitu kokoonpanoaika. Peruskokoonpanoaikana pidetään 3 sekuntia, jolloin osan käsittelyssä, asentamisessa tai kiinnittämisessä ei ole vaikeuksia. (Boothroyd et al. 2010) Aikaisemmin tekstissä arvioitiin osien välttämättömyyttä, jonka tuloksia käytetään teoreettisen osien määrän laskemisessa. Boothroydin mukaan teoreettinen osien määrä saadaan laskemalla niiden osien määrä yhteen, joille on määrätty välttämättömyysarvo 1. (Boothroyd et al. 2010)

## 3.2 Hitachi Assembly Evaluation Method

Ensimmäinen versio Hitachin Assembly Evaluation Methodista (AEM) kehitettiin vuonna 1967 (Leaney & Wittenberg 1992). Menetelmää käytetään kuitenkin lähinnä Japanissa, muualla maailmassa se on jäänyt muiden metodien varjoon (Lempiäinen & Savolainen 2003). Käytännön kokemukset osoittivat kuitenkin alkuperäisessä metodissa olevan muutamia kehityskohtia, joita vietiin eteenpäin vuosia myöhemmin. Ensimmäinen kehityskohta liittyi osien kiinnityskustannuksiin, joita ei otettu alkuperäisessä metodissa tarpeeksi tarkasti huomioon. Toiseksi huomattiin, että kiinnityskustannuksien pitäisi liittyä paremmin kokoonpantavuuspisteisiin, jotta pisteet antaisivat paremman kuvan kokoonpanosta. Kokoonpantavuuspisteillä arvioidaan tuotteen kokoonpantavuutta, jossa pistemäärä 100 edustaa ideaalikokoonpanoa. (Ohashi et al. 2002) Tässä työssä kokoonpantavuuspisteitä merkitään kirjaimella E.

Tavanomainen AEM alkaa kokoonpanon rakenteen analysoinnilla, jossa jokainen kokoonpanovaihe kategorisoidaan. Jokaiselle vaiheelle annetaan oma symbolinsa, joka näyttää selvästi vaiheen sisällön. Ylhäältä alas kiinnittäminen valitaan perusvaiheeksi, sillä se on kaikista vaiheista yksinkertaisin. Jokainen vaihe saa rangaistuspisteitä riippuen vaiheen keskimääräisestä kestosta ja vaikeudesta. Rangaistuspisteet luetaan metodia varten tehdyistä taulukoista. Yksinkertaisimmalle perusvaiheelle rangaistuspisteiksi tulee 0. (Ohashi et al. 2002)

Jokaisen vaiheen arvioinnin jälkeen määritetään tuotteen kokoonpantavuuspisteet. Osa-kohtainen E lasketaan summaamalla osan kaikkien vaiheiden rangaistuspisteet yhteen ja vähentämällä se 100:sta. Koko tuotteen kokoonpantavuuspisteet lasketaan osapisteiden keskiarvona, josta osien lukumäärää apuna käyttäen lasketaan arvio kokoonpanokustannuksista ja -ajasta. (Ohashi et al. 2002) E-indeksin tulisi olla yli 80, jotta tuotteen voisi sanoa olevan kokoonpantavuudeltaan hyvä ja kustannusten maltilliset. Yleisesti ottaen E-indeksin ollessa yli 80 voidaan tuotteen kokoonpano toteuttaa myös automatisoidusti (Leaney & Wittenberg 1992)

Myöhemmin E-indeksin tarkkuutta on parannettu lisäämällä 20:n perusvaiheen lisäksi täydentäviä osatekijöitä. Niihin tulee lukeutua kokoonpanoaikaa merkittävästi pidentävät tekijät, mutta arvioinnin yksinkertaistamiseksi niiden lukumäärä tulee minimoida. Täydentäviin osatekijöihin kuuluu osan koko, mittojen tarkkuus, paikottumistarkkuus ja toistettavuus. Jokaiselle vaiheelle ja täydentävälle osatekijälle määritetään vaikeuskerroin, joka vaikuttaa tuotteen E-indeksiin. (Ohashi et al. 2002)

Kokoonpantavuuspisteet eivät kuitenkaan kerro mitään hyödyistä, joita saadaan osien lukumäärää vähentämällä. Tämän takia metodiin on myöhemmin kehitetty kokoonpanon kustannussuhde K. Se voidaan laskea jakamalla uuden mallin kokonaiskustannukset vanhan tai normaalin tuotteen kokonaiskustannuksilla. Suunnittelutavoite arvolle K on 0,7. Tällöin kustannussäästöt uudella mallilla ovat 30 % pienemmät. (Leaney & Wittenberg 1992)



Hitachin menetelmä on hyvin samankaltainen kuin Boothroydin menetelmä. Molemmissa kokoonpanon vaiheet arvioidaan ja katsotaan taulukoista niitä vastaavat arvot. Molemmat menetit antavat myös vertailtavan kokoonpanoarvon, jotta uusien mallien hyöty voidaan osoittaa. (Leaney & Wittenberg 1992).

### 3.3 CSC-kokoonpantavuusmetodi

Computer Science Corporation Design For Assembly/Manufacturing Analysis on yksi kokoonpantavuuden suunnittelumetodeista ja siitä käytetään tässä työssä lyhennettä CSC DFA/MA. CSC DFA/MA on kehitetty alunperin Lucas Industries-yhtiön toimesta, mutta sitä kehitettiin eteenpäin 1990-luvun lopulla yhteistyössä CSC:n ja Hull:n yliopiston kanssa. (Miles & Swift 1998) DFA/MA-metodista käytetään usein myös nimitystä Lucas-metodi tai Lucas/Hull-metodi sen ensimmäisten kehittäjien mukaan.

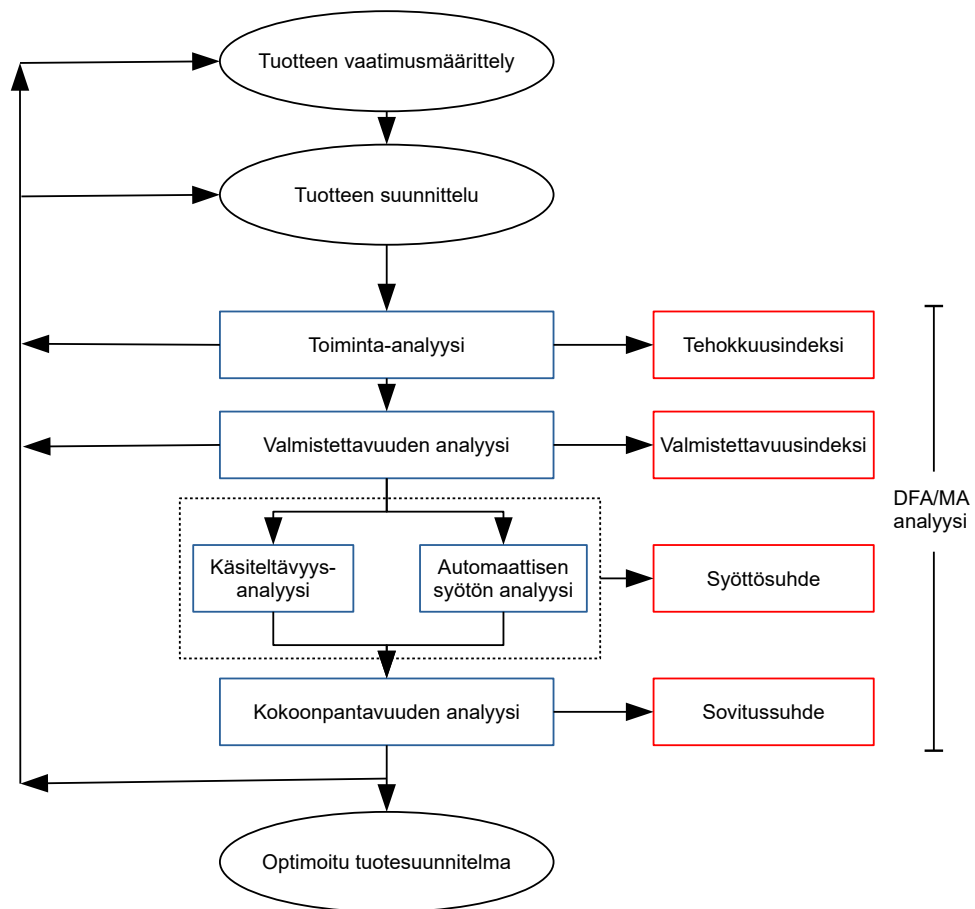
CSC DFA/MA koostuu neljästä eri analyysistä, joista kolme liittyy kokoonpantavuuden suunnitteluun ja yksi valmistuskustannuksiin (Miles & Swift 1998). Tämä työ käsittelee metodista vain kokoonpantavuuteen vaikuttavat analyysit. Metodi mahdollistaa tuoteite-raatioiden vertailun suorituskykyluvuilla, joilla kokoonpanon paremmuus aikaisempaan voidaan todentaa (Leaney & Wittenberg 1992). Metodin rakenne on koottuna kuvassa 3.1.

Ensimmäinen osa metodia on toiminta-analyysi. Siinä tuotteen osat jaetaan kahteen eri ryhmään riippuen niiden kriittisyydestä tuotteen toiminnalle. Sellaiset osat jotka ovat keskeisiä, laitetaan ryhmään A ja epäolennaiset osat ryhmään B. (Leaney & Wittenberg 1992; Miles & Swift 1998) Osat jaetaan ryhmiin hyvin samoin kriteerein kuin Boothroydin metodissakin, mutta nojautuen tuotteen vaatimusmäärittelyyn. Osaryhmien perusteella voidaan laskea kokoonpanon tehokkuusindeksi, joka saadaan jakamalla A-osien lukumäärä kaikkien osien lukumäärällä. Suositeltu arvo suunnittelutehokkuudelle on yli 60%. Tehokkuusindeksin ollessa liian alhainen, voidaan tuotetta parantaa palaamalla prosessissa taaksepäin. (Leaney & Wittenberg 1992)

Toisessa vaiheessa tehdään tuotteelle valmistettavuusanalyysi, jossa arvioidaan valmistuskustannuksia. (Dalglish et al. 2000) Tämä kohta jätetään tässä työssä käsittelemättä.

Kolmannen vaiheen sisältö riippuu siitä, onko tuote käsin vai automaattisesti kokoonpantava. Automaattisesti kokoonpantavissa tuotteissa tehdään osien syöttötavan analyysi, jolla määritetään osien sopivuus erilaisille automaattisille syöttäjille. (Leaney & Wittenberg 1992) Osista analysoidaan esimerkiksi niiden erottuminen pinosta ja oikein päin kokoonpanoa varten pysyminen (Dalglish et al. 2000). Käsin kokoonpantaville tuotteille tehdään käsiteltävyyssanalyysi, joka ottaa huomioon osien käsittelyn ongelmakohdat ihmisen ominaisuudet huomioiden.

Analyysin perusteella voidaan taulukoiden perusteella määrittää syöttöindeksi. Syöttöindeksin minimiarvo on 1 ja tavoiteltu arvo on alle 1,5. Arvon ylittäessä luvun 1,5 täytyy tuotetta suunnitella uudelleen. (Leaney & Wittenberg 1992) Syöttöindeksiä käytetään myö-



**Kuva 3.1.** CSC DFA/MA prosessin eri vaiheet, mukaillen (Leaney & Wittenberg 1992; Miles & Swift 1998; Dalglish et al. 2000).

hemmin syöttösuhteen laskemiseen.

Neljännessä vaiheessa tuotteelle tehdään kokoonpantavuusanalyysi. Tässä vaiheessa otetaan huomioon kaikki kokoonpanovaiheeseen kuuluvat toimenpiteet. (Leaney & Wittenberg 1992; Dalglish et al. 2000) Osien kiinnittäminen, kääntäminen ja paikallaan pitäminen ovat kaikki asioita, jotka pitää ottaa huomioon sekä käsin, että automaattisesti kokoonpantavissa osissa. Automaattisessa kokoonpanossa pitää lisäksi ottaa huomioon osista tarttuminen. Kokoonpantavuusanalyysin perusteella määritetään sovitussuhde, jonka tulisi olla alle 1,5. Jälleen arvon 1,5 ylittyessä tuotetta pitäisi suunnitella uudelleen. (Leaney & Wittenberg 1992)

Viimeisenä vaiheena metodissa on kokoonpanon parannusten arviointi. CSC DFA/MA metodi tuottaa 3 erilaista kokoonpantavuutta mittaavaa lukua, joita voi vertailla tuotteen aikaisemman version kanssa. (Miles & Swift 1998) Ensimmäinen vertailtava luku, tehokkuusindeksi, käsiteltiin toiminta-analyysin kohdalla.

Toinen vertailtava luku on syöttösuhde. Sen tulisi olla kokoonpanossa alle 2,5. Syöttösuhde saadaan syöttöanalyysin perusteella kaavalla

$$\text{Syöttösuhde} = \frac{\text{Syöttöindeksi}}{\text{Välttämättömien osien lukumäärä}}, \quad (3.2)$$

jossa syöttöindeksi on saatu syöttöanalyysistä ja välttämättömien osien lukumäärä toiminta-analyysistä. (Leaney & Wittenberg 1992)

Kolmas metodin tuottama luku on sovitussuhde, jonka tulisi myös olla alle 2,5. Sovitussuhde voidaan laskea kaavalla

$$\text{Sovitussuhde} = \frac{\text{Sovitusindeksi}}{\text{Välttämättömien osien lukumäärä}}, \quad (3.3)$$

jossa sovitusindeksi on saatu kokoonpanoanalyysistä ja välttämättömien osien lukumäärä toiminta-analyysistä. (Leaney & Wittenberg 1992)

Leaney ja Wittenbergin (1992) mukaan suunnittelija voi tehdä lukujen perusteella päätelmiä tuotteen kokoonpantavuuden helppoudesta ja soveltuvuudesta tuotantoon (Leaney & Wittenberg 1992) Milesin ja Swiftin (1998) mukaan tällä metodilla yli 60:n eri tapauksen perusteella kokoonpanojen osien lukumäärää pystyttiin vähentämään keskimäärin 46%. Heidän mukaansa tapauksien keskiarvot ja hajonnat vaihtelivat vain vähän, oli kyse sitten lentokone- tai autoteollisuudesta.

### 3.4 Tiimipohjainen ajattelumalli

Appletonin ja Garsiden kehittämä tiimipohjainen DFA-metodi on kehitetty käyttäen pohjana aikaisemmin tässä työssä käsiteltyä Boothroydin metodologiaa. Tavoitteena metodissa on tehdä suunnitteluprosessista tiimipohjaisempaa kuin Boothroydin kehittämässä metodissa. Appletonin ja Garsiden mukaan lomakkeiden tai tietokonepohjaisten ohjelmien käyttö häiritsee luovaa suunnitteluprosessia, joten he ovat kehittäneet yksinkertaisemman metodin kokoonpanon analysointiin. (Appleton & Garside 2000)

Appletonin ja Garsiden (2000) mukaan tietokoneohjelmistot ovat hyödyllisiä varsinkin suunnittelun dokumentoinnissa, joten metodissa voidaan käyttää apuna yksinkertaista taulukko-ohjelmaa. Ohjelman käyttö ei kuitenkaan ole pakollista ja sitä käytetään vasta, kun suunnitteluprosessi on lopussa. (Appleton & Garside 2000)

Appletonin ja Garsiden mielestä suunnitteluprosessi ei ole nykypäivänä enää yhden henkilön tehtävissä, vaan olisi tärkeää kasata kokonainen tiimi prosessin ajaksi. Tiimiin olisi hyvä saada mukaan ihmisiä suunnittelu-, kokoonpano-, myynti- ja valmistusosastoilta. Sopiva tiimin koko olisi 6-8 henkeä, jolloin tuloksia pitäisi syntyä nopeasti. (Appleton & Garside 2000)

Appletonin ja Garsiden metodi voidaan jakaa toteutukseltaan kuuteen eri osa-alueeseen. Ensimmäisenä kokoonpano puretaan osiksi joko fyysisesti tai käyttäen piirustuksia. (Apple-

ton & Garside 2000)

Toinen vaihe on kaikkien kokoonpanon osien nimeäminen. Jokainen kokoonpanon osa kirjoitetaan muistilapulle. Appleton ja Garside suosivat metodin eri vaiheissa erivärisiä muistilappuja, jolloin prosessin eteneminen on helpommin nähtävissä. Tähän vaiheeseen kuuluu myös kokoonpanon kokoaminen yhden tiimin henkilön toimesta. Kokoamisen aikana muut tiimin jäsenet kirjoittavat havaintoja kokoonpanon eri vaiheista muistilapuille. (Appleton & Garside 2000)

Kolmannessa vaiheessa prosessista rakennetaan matriisi. Matriisiin on tarkoitus kerätä samanväriset muistilaput omille riveilleen, jolloin kokoonpanon analysointi on helpompaa. (Appleton & Garside 2000)

Neljännessä vaiheessa aloitetaan osien lukumäärän vähentäminen. Muistilappuja ja matriisia hyväksikäyttäen on tarkoitus etsiä osat, jotka olisi mahdollista poistaa tai yhdistää. Osien tunnistamisen jälkeen on tarkoitus miettiä, pystytäänkö osaa oikeasti poistamaan vai onko se kriittinen kokoonpanon kannalta. Tähän käytetään Boothroydin kehittämiä sääntöjä, joita käsiteltiin luvussa 3.1. Muutokset osissa vaatii myös kokoonpanoprosessin uudelleenarvioinnin. (Appleton & Garside 2000)

Viidennessä vaiheessa analysoidaan osien käsittelyn helppoutta. Myös tämän analysointiin käytetään hyödyksi muistilappumatriisia, josta nähdään kokoonpanon kaikki käsitteilyoperaatiot. Jos tiimi on halukas tekemään isoja muutoksia, voi tässä vaiheessa miettiä kaikkien osien käsittelyn uudestaan. (Appleton & Garside 2000)

Viimeisessä vaiheessa analysoidaan prosessin vaikutukset tuotteeseen. Uuden kokoonpanon kasausaikaa voidaan arvioida ja verrata sitä alkuperäisen kokoonpanon aikaan. Yhtenä mittarina voidaan myös pitää kokoonpanon osien lukumäärää. (Appleton & Garside 2000)

Metodi ottaa huomioon eri osastojen merkityksellisyyden tuotteen suunnittelussa, kun vanhemmat metodit antavat vastuun yhdelle suunnittelijalle. Appletonin ja Garsiden metodi on tosin vain käytännön toteutus Boothroydin metodille ja suunnittelupäätöksien tekemiseen tarvitaan edelleen Boothroydin kehittämiä sääntöjä ja ohjeita.

### **3.5 Yksinkertaistettu suunnittelumetodi**

Moultrie ja Maier kehittivät vuonna 2014 yksinkertaistetun suunnittelumetodin, joka pohjautuu vahvasti Appletonin ja Garsiden metodiin. Moultrien ja Maierin mielestä Appletonin metodi on liian monimutkainen eikä se ota huomioon osakokoonpanoja. (Moultrie & Maier 2014)

Moultrien ja Maierin metodissa yhteen muistilappuun on kerätty lähes kaikki oleellinen tieto, eikä sitä ole levitetty monelle lapulle niin kuin Appletonin metodissa. Esimerkki metodissa käytettävästä muistilapusta on kuvassa 3.2.

Huomiota on kiinnitetty varsinkin todelliseen kokoonpanoon tehtaan lattialla, jotta pystyt-

täisiin saavuttamaan tavoitellut tuotantotavoitteet. Moultrien ja Maierin metodissa käytetään pisteytystaulukoita, joiden avulla tiimien on mahdollista analysoida osien kiinnittämistä ja käsiteltävyyttä ilman monimutkaisia pisteytysmetodeja. (Moultrie & Maier 2014)

<b>Osan nimi:</b>		<b>Onko osa välttämätön?</b>
		Kyllä <input type="checkbox"/>
		Ei varmuutta <input type="checkbox"/>
		Ei <input type="checkbox"/>
<b>Käsiteltävyys</b> Pisteet:	<b>Sovittaminen</b> Pisteet:	<b>Kiinnittäminen</b> Pisteet:
Helppo <input type="checkbox"/>	Helppo <input type="checkbox"/>	Helppo <input type="checkbox"/>
Kohtalainen <input type="checkbox"/>	Kohtalainen <input type="checkbox"/>	Kohtalainen <input type="checkbox"/>
Vaikea <input type="checkbox"/>	Vaikea <input type="checkbox"/>	Vaikea <input type="checkbox"/>

**Kuva 3.2.** Esimerkki muistilapusta, mukaillen (Moultrie & Maier 2014).

Metodin suunnitteluprosessi on hyvin samankaltainen kuin Appletonin metodissa ja se koostuu tavoitteista, purkamisesta, välttämättömien osien tunnistamisesta, uudelleenkoamisesta, kritiikistä ja uudelleensuunnittelusta. Vaiheissa käytetään apuna pisteytystaulukoita suunnitteluratkaisujen analysoinnissa. (Moultrie & Maier 2014)

Moultrien metodin tavoitteena on tehdä suunnitteluprosessista sujuva ja laajentaa aikaisempien metodien ajattelua. Moultrien metodin tärkeimmät kehityskohdat Appletonin metodiin ovat pisteytystaulukoiden käyttö, sekä suunnittelun parempi yhteys oikeaan kokonpanolinjastoon. (Moultrie & Maier 2014)

## 4 KOKOONPANTAVUUDEN TUOTETAPAUKSET

Tämän osion tarkoituksena on esitellä lukijalle neljä erilaista tuotetapausta, joissa tuotetta on suunniteltu kokoonpantavuuden kannalta. Tuotteita suunniteltaessa on käytetty joitakin luvussa 2 käsiteltyjä suunnitteluperiaatteita, sekä luvussa 3 käsiteltyjä suunnittelumetodeja. Tapaukset on valittu mahdollisimman erilaisista tuotteista, jotta DFA:n mahdollisuuksia käsiteltäisiin mahdollisimman laajasti.

### 4.1 Tapaus 1: Motorolan viivakoodinlukija

Motorolalla käytettiin DFMA-ohjelmaa analysoimaan viivakoodinlukijan rakennetta. Tavoitteena oli ohjata tuotteen suunnittelua kokoonpanoystävälliseen suuntaan ja samalla parantaa tuotteen laatua. (Foley 2011) Seuraavaksi esitellään löydettyjä ongelmakohtia tuotteesta, sekä niiden kokoonpanoystävälliset ratkaisut.

Tuotteessa on toiminnan mahdollistamiseksi jouset, jotka oli asennettu pienien tappien päihin. Kyseinen toimenpide vaati jousien asentamista tarkasti paikoilleen, jotta tuote toimisi oikein. Ongelmana oli jousien mahdollinen siirtyminen paikoiltaan kokoonpanovaiheessa, jota ei huomattaisi ennen tuotteen sulkemista. Ratkaisu löydettiin tekemällä tuotteen kuoreen kolot, josta jouset eivät pääsisi tippumaan. Jousien paikottamisen helpottamiseksi suunniteltiin runkoon pidemmät ohjaustapit. Jousi ja kolojen koko suunniteltiin niin, että jousi paikottuu itsestään kun se tiputetaan koloonsa. (Foley 2011)

Toisena ongelmakohtana tuotteessa oli skanneria eri asennoissa pitävät räikkämekanismit. Alkuperäisessä mallissa oli erikseen oikeanpuoleinen, sekä vasemmanpuoleinen räikkämekanismi. Kokoonpanovaiheessa räikkämekanismi piti saada samaan koloon jousen kanssa, sekä vielä oikeassa asennossa. Ratkaisuksi kehitettiin räikkämekanismien tekeminen samanlaisiksi, joka poisti kokoonpanijalta oikean mekanismin tunnistamisvaiheen. Mekanismin paikalleenlaittoa helpottamaan tehtiin räikkiin itsepaikottumista auttavat viisteet, jolloin kolon oikealla suunnittelulla myös räikkä saatiin paikoitettua puodottamalla. (Foley 2011)

Kolmas ongelmakohta oli tuotteen äänikammio ja tuotteen elektroniikkaosia suojaava tiiviste. Äänikammiota käytetään laitteen äänilähteiden vahvistamiseen ja tiiviste suojaa laitteen sisäosia pölyltä ja kosteudelta. Äänikammio on tuotteelle pakollinen, joten sille ei voitu tehdä mitään. Tiiviste sen sijaan päätettiin integroida yhteen äänikammion kanssa, sillä se oli helppo toteuttaa yksinkertaisen työkalumuutoksen avulla. (Foley 2011)

Neljäntenä ongelmakohtana tuotteessa oli sen ikkunan toteutus. Viivakoodinlukijassa ikkunan pitää olla puhdas, jotta laite toimii oikein. Alkuperäisessä suunnittelussa kokoonpanija tutki ikkunan puhtauden ja putsasi sen jos se oli tarpeellista. Ikkunan putsaaminen ei kuitenkaan lisännyt tuotteelle arvoa, sekä se altisti mahdollisille laatuvirheille. Ikkunan käsittelyn helpottamiseksi siihen päätettiin lisätä jokaiseen nurkkaan tapit. Lukijan runkoon suunniteltiin kolot, joilla ikkuna saatiin paikoitettua siihen suunniteltuja tappeja apuna käyttäen. Puhtauden varmistamiseksi ikkunat toimitettiin jatkossa tarjottimilla, joista osan ottaminen oli kokoonpanijalle helppoa. (Foley 2011)

Viimeinen käsiteltävä ongelmakohta tuotteessa oli vastapainon kiinnittävät ruuvit. Tiettyjen suunnitteluratkaisuiden vuoksi vastapaino oli kiinni kolmella ruuvilla, joista kaksi oli saman mittaisia ja yksi lyhyempi. Ruuvit olivat tuotteelle välttämättömiä pudotusvaatimusten vuoksi. Ratkaisuna lukijan pohjaosaan suunniteltiin reuna, jonka seurauksena lyhyempi ruuvi pystyttiin poistamaan kokonaan. Ratkaisu säästi materiaalikustannuksissa, sekä kokoonpanovaihe lyheni yhdellä vaiheella. Lyhyemmän ruuvin poistamisen jälkeen kokoonpanija ei voinut myöskään enää erehtyä laittamaan liian pitkää ruuvia lyhyeen reikään. Väärä ruuvi rikkoisi pohjaosan ja tuote jouduttaisiin kokoamaan uudestaan. (Foley 2011)



**Kuva 4.1.** Motorolan DS9208 viivakoodinlukija. (Foley 2011)

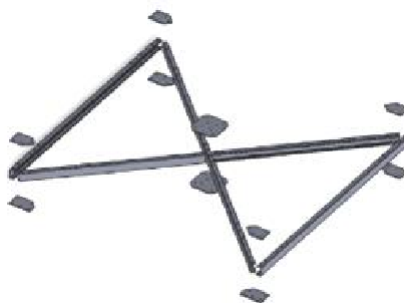
## 4.2 Tapaus 2: aurinkokeräin

Tässä tuotetapauksessa käytetään uutta DFA-metodia, joka yhdistelee Boothroydin ja CSC:n metodia. Uusi metodi on tarkoitettu eritoten pitkäikäisten ja isokokoisten tuotteiden analysointiin. Kyseisen metodin avulla tapauksessa analysoitiin ja kehitettiin aurinkokeräimen moduulien rakennetta. (Remirez et al. 2019)

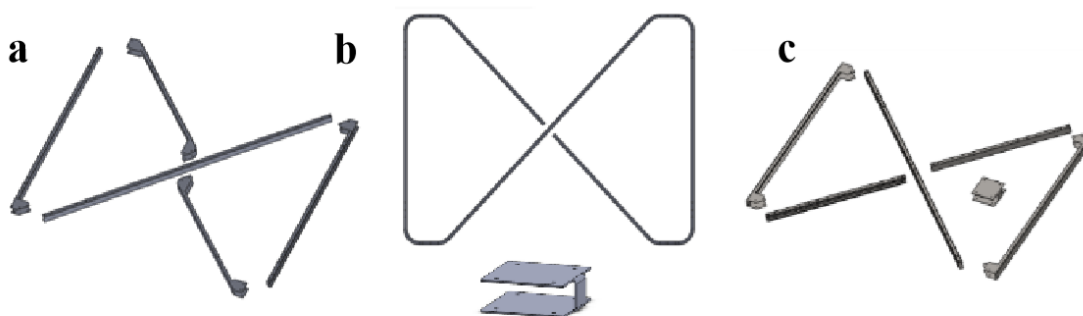
Tapauksen aurinkokeräimen moduulien koko on 2 metriä leveä ja 6 metriä pitkä. Yksi moduuli painaa 80 kiloa. Moduuli on otettu analysoitavaksi, sillä se on aurinkokeräimen

eniten toistuva osa. Yhdessä aurinkokeräinlinjassa on 16 moduulia, jolloin pienetkin parannukset tuovat apua koko tuotteen kokoonpantavuuteen. (Remirez et al. 2019)

Moduulille tehtiin DFA-metodin mukainen analyysi. Modulin ristikkorakenne sai suunnittelun tehokkusindeksiksi 6,67 % ja kokonaisrakenne 22,22 %. Moduulin osien tehokkusindeksi oli niin alhainen, että lähes kaikille osille harkittiin uudelleensuunnittelua. Tulosten perusteella suunnittelija ehdotti 3:a eri vaihtoehtoa ristikkorakenteeseen. Alkuperäinen ristikkorakenteen kokoonpano on kuvassa 4.2 ja suunnittelijan ehdottamat muutetut kokoonpanot kuvassa 4.3. (Remirez et al. 2019)



**Kuva 4.2.** Alkuperäinen ristikon rakenne. (Remirez et al. 2019)



**Kuva 4.3.** Kolme uutta rakennevaihtoehtoa ristikolle. (Remirez et al. 2019)

Remirez et al. (2019) mukaan vaihtoehto c oli paras, kun huomioon otettiin valmistettavuus. Taulukosta 4.1 nähdään eri vaihtoehtojen vertailulukuja. Taulukossa käsiteltävyyssuhde, sovitussuhde ja toimeksiantosuhde ovat kaikki sitä parempia, mitä pienempi luku on. Käsiteltävyyssuhde ja sovitussuhde on käsitelty aiemmin tässä työssä luvussa 3.3 ja toimeksiantosuhde kuvaa tuotteen elinkaaren hallitsemista (Remirez et al. 2019)

Prosessi toistettiin koko mallin osalta, jonka seurauksena 18 eri muutosta ehdotettiin ja tutkittiin. Suunnittelun tehokkusindeksi nousi keskimäärin 20,4 %. Parhaimmissa tapauksissa käsiteltävyyssuhde pieneni 72 % ja sovitussuhde 97 %. Kaikkein tärkein kriteeri suhdelukujen paranemiseen oli osien lukumäärän vähentäminen, joka saavutettiin osia yhdistämällä ja kokoonpanoa muuttamalla. (Remirez et al. 2019)



**Taulukko 4.1.** Moduulin rakenteen vertailutaulukko, jossa arvot ennen optimointia ja sen jälkeen. (Remirez et al. 2019)

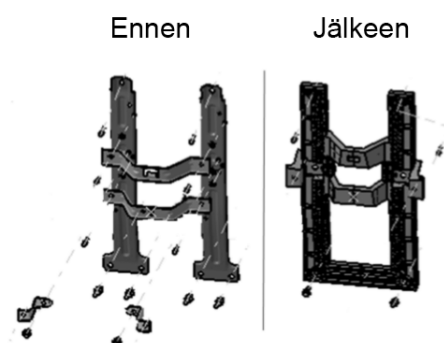
Parametri	Moduulin rakenne	Ristikko		
		a	b	c
Komponenttien lukumäärä	9 → 5	15 → 5	15 → 2	15 → 6
Kriittiset osat	2 → 2	1 → 1	1 → 1	1 → 1
Tehokkuus (%)	22.22 → 40	6.67 → 20	6.67 → 50	6.67 → 16.67
Käsiteltävyyssuhde	13.35 → 4.95	18.1 → 4.1	18.1 → 2	18.1 → 6
Sovitussuhde	110.5 → 67.4	342 → 34.8	342 → 31.7	342 → 69.8
Toimeksiantosuhde	2 → 0	0 → 0	0 → 1	0 → 0

### 4.3 Tapaus 3: ajoneuvon puskuri

Beijing Automotive Industry Holding Co. (BAIC) oli suunnitellut ajoneuvomallin, jonka etupuskuria analysoitiin kustannusinsinöörin toimesta. Analyysissa huomattiin Boothroyd Dewhurstin ohjelmaa käyttäen, että puskuri on vaikea kokoonpanna ja valmistaa. Puskurin kiinnityskohdat olivat heikot, joka saattaisi johtaa jopa rikkoutumiseen. (Ni ei julkaisupäivää)

Puskurille tehtiin tarkka kokoonpano ja kustannusanalyysi, jossa huomattiin alkuperäisen mallin sisältävän useita ongelmakohtia. Alkuperäisessä mallissa oli muun muassa 24 erilaista kiinnitinosaa ja osia joutui pitämään oikealla paikallaan kiinnitysvaiheen ajan. Monimutkainen kokoonpano hidasti kokoonpanoprosessia, sekä tuotteen laatu kärsi. (Ni ei julkaisupäivää)

Puskuria pystyttiin yksinkertaistamaan poistamalla siitä 4 osaa, jotka DFMA kriteerien mukaan ovat kokoonpanossa tarpeettomia. Osia integroitiin toisiinsa, jonka seurauksena tuotteen rakenteesta ja kokoonpanosta tuli yksinkertaisempia. Sopivuus vanhoihin ajoneuvoihin pystyttiin säilyttämään suunnittelemalla uuden puskurin kiinnityspisteet samoihin kohtiin kuin vanhassa. (Ni ei julkaisupäivää) Puskurin kiinnityskehikon mallien vertailu uuden ja vanhan välillä on kuvassa 4.4.



**Kuva 4.4.** Muutokset puskurin kiinnityskehikossa ennen uudelleensuunnittelua ja sen jälkeen, mukaillen (Ni ei julkaisupäivää).

Puskurin uudelleensuunnittelu vähensi kokoonpanossa olevia osia, sekä yhdisti kiinnitysosakokoja ja -tyyppejä. Osia saatiin puskurissa vähennettyä 20 kappaletta ja erilaisia kiinnitysosia 14 kappaletta. Osien integrointi toisiinsa toteutettiin valmistamalla metalliosien sijasta ruiskuvalettua muovia. Kokoonpantavuutta helpotettiin entisestään itsepaikottuvalla rakenteella. Puskurin kokoonpanoaika väheni alkuperäisestä 552 sekunnista 131 sekuntiin. (Ni ei julkaisupäivää)

#### 4.4 Tapaus 4: lentokoneen ilmaventtiili

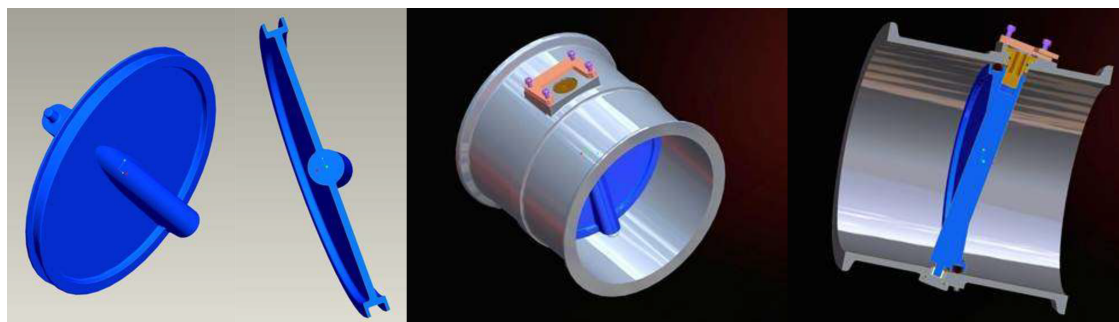
ITT Aerospace Controls sai tehtäväksi suunnitella korvaavan ilmaventtiilin vanhan tilalle. Ilmaventtiili tulisi käyttöön kaupalliseen lentokoneeseen ja niitä tarvittaisiin jokaiseen lentokoneeseen 3 kappaletta. Venttiili pitäisi myös saada mahtumaan 7 tuuman kokoiseen ilmaputkeen. (Vranson 2011)

Vransonin (2011) mukaan yhtiö kasasi tiimin, joka arvioi vaatimukset ja löysi siihen jo olemassa olevan tuotteen. Tuote oli kuitenkin suunniteltu jo 30 vuotta sitten ja siinä ajassa tuotantojärjestelmät olivat muuttuneet paljon. Tuotteelle suoritettiin DFA-analyysi ja huomattiin sen olevan hyvin vaikea valmistaa. (Vranson 2011)

Venttiili päätettiin suunnitella uudelleen, ottaen huomioon hyvä kokoonpantavuus. Tavoitteena oli luoda asiakkaan laatu- ja luotettavuusvaatimukset ylittävä tuote käyttäen mahdollisimman vähän osia. (Vranson 2011)

Suurimmat muutokset tehtiin venttiilin runkoon ja lautaseen. Suuri muutos tehtiin lautasen tiivistymiseen, sillä vanha malli vaati rungon sisäpintaan tarkan toleranssin. Vanhassa mallissa lautanen tiivistettiin runkoon 21 tuumaa pitkän tiivisteen avulla, jonka asennus oli hankalaa. Tiiviste saattoi myös vaurioitua asennuksen aikana, jolloin se piti vaihtaa (Vranson 2011)

Uudelle mallille tehtiin useita iteraatioita, joiden jälkeen lopullinen suunnitelma oli valmis. Uusi malli on tiiviydeltään aikaisempaa parempi, sillä venttiilin lautanen on tehty elastomeerisesta aineesta. Elastomeerin käyttö mahdollisti löysemmät toleranssit venttiilin rungon sisäpintaan, jolloin hiomisvaihe jäi kokonaan pois. (Vranson 2011) Kuva 4.5 havainnollistaa uudelleensuunnitellun venttiilin rakennetta.



**Kuva 4.5.** Uudelleensuunnitellussa venttiilissä on elastomeerista valmistettu lautanen ja yksinkertainen runko-osa, mukaillen (Vranson 2011).

Vransonin (2011) mukaan lopullisessa tuotteessa on vain 14 osaa aiemman 27 sijaan ja venttiilin kokoonpanoaika pieneni 8,08 minuutista 2,54 minuuttiin. DFA-indeksi saatiin venttiilin uudelleensuunnittelulla nostettua arvosta 3,1 arvoon 10,4 ja sen lisäksi saavutettiin materiaalikustannuksien pienentyminen viidesosaan alkuperäisestä. Uuden venttiilin luotettavuus on todennäköisesti aikaisempaa venttiiliä parempi, sillä uudessa venttiilissä ei ole helposti rikkoutuvaa teflontiivistettä. (Vranson 2011)

## 5 KOKOONPANTAVUUDEN SUUNNITTELUPERIAATTEIDEN KÄYTTÖ TUOTETAPAUKSISSA

Tässä osiossa on tarkoitus vertailla edellisessä luvussa käsiteltyjen tuotetapausten kokoonpantavuuteen vaikuttavien suunnitteluperiaatteiden käyttöä. Tarkoituksena on tuoda esille eroja erilaisten tuotteiden suunnitteluratkaisuista ja käsitellä mahdollisia syitä niiden toteuttamiselle.

Kaikki käsitellyt tuotetapaukset olivat erilaisia. Aurinkokeräin oli tuotteista huomattavasti suurin, jolloin sen suunnittelu todennäköisesti hieman eroaa pienemmistä tuotteista. Aurinkokeräimessä kokoonpanovaiheessa osat ovat suuria ja työkaluille jää tilaa, kun taas viivakoodinlukijan tapauksessa osat saattavat mennä hyvinkin pieniksi ja tila ahtaaksi. Kuten taulukosta 5.1 nähdään, kaikissa tuotetapauksissa käytettiin paljon samoja suunnitteluperiaatteita. Tuotteiden suunnittelussa taka-alalle jäivät syötettävyys, kokoonpanosuunnat ja modulointi, joista mitään ei huomioitu käsitellyissä tapauksissa. Se saattaa johtua tuotteiden manuaalisesti tapahtuvasta kokoonpanosta tai ettei tuotteita ollut tarvetta räätälöidä.

**Taulukko 5.1.** Tuotetapauksissa käytetyt kokoonpantavuuden suunnitteluperiaatteet.

Suunnittelu- periaate	Viivakoodin- lukija	Aurinko- keräin	Ajoneuvon puskuri	Ilmaventtiili
Osien vähentäminen	●	●	●	●
Asentamisen helppous	●	●	●	●
Orientoitavuus	●			
Syötettävyys				
Kokoonpanosuunnat				
Liitokset	●	●	●	●
Modulointi				
Yhteistyö	●		●	

Taulukosta 5.1 huomataan myös suunnitteluun kaikkein eniten vaikuttavat asiat. Kaikissa tapauksissa tärkeimpänä tavoitteena oli tuotteessa olevien osien vähentäminen, joka on myös DFA-ajattelun mukaan kaikkein tärkein asia. Osien määrää vähentämisellä on mahdollista parantaa kokoonpantavuutta kaikista eniten, sillä kokoonpanosta poistettua osaa

ei tarvitse orientoida, asemoida tai kiinnittää. Eniten osia saatiin vähennettyä puskurista ja ilmaventtiilistä, jotka olivat tuotetapauksista kaikkein monimutkaisimpia. Viivakoodinlukijasta osien määrää saatiin vähennettyä vain vähän, sillä siinä ei alun perinkään ollut montaa osaa. Osien vähentäminen vaikuttaa myös materiaali- ja valmistuskulujen pienentymiseen.

Toinen kaikissa tuotetapauksissa toteutunut suunnitteluperiaate oli asentamisen helpous. Varsinkin viivakoodinlukijan tapauksessa Motorolalla oltiin mietitty eri kokoonpanovaiheisiin helpoin mahdollinen osien asentaminen. Lukijaan suunniteltiin paljon asentamista helpottavia viisteitä ja ohjainulokkeita (Foley 2011). Yhtenä syynä voi olla lukijoiden suuri valmistusmäärä tai halu pienentää tuotteiden hylkäysprosenttia. Ilmaventtiilin tapauksessa huomio kiinnittyi asentamisen näkökulmasta enemmän laadunhallintaan. Venttiili oli menossa asennettavaksi lentokoneeseen, jolloin tuotteen laatu ja toimintavarmuus ovat varmasti haluttuja asioita. Valmistusmäärät lentokoneen ilmaventtiilillä ovat todennäköisesti pienempiä kuin viivakoodinlukijalla, joten venttiiliin kokoonpanoon saa mennä suhteessa hieman enemmän aikaa.

Ajoneuvon puskurissa asentamista parannettiin itsepaikottuvalla rakenteella, jolloin kokoonpanon asentaja voi keskittyä itse osan kiinnittämiseen paremmin (Ni ei julkaisupäivää). Viivakoodinlukijan tapauksessa itsepaikottuvuus toteutettiin tuotteeseen tehtyjen pienten rakennemuutosten avulla. Ilmaventtiilissä oleva lautanen vaati ennen uudelleensuunnittelua osaa paikallaan pitävän kiinnittimen, mutta uudessa mallissa se saatiin rakennetta muuttamalla jo lähes itsepaikottuvaksi.

Viivakoodinlukija oli ainoa, jossa oltiin ajateltu kokoonpantavuutta orientoinnin näkökulmasta. Lukijassa tehtiin epäsymmetrisistä osista symmetrisiä, jolloin asentajan ei tarvitse käyttää aikaa tietyn osan tai sen orientaation tunnistamiseen (Foley 2011). Symmetria saattaa myös poistaa laatuvirheitä joita väärin asennetut osat aiheuttavat. Muissa tuotetapauksissa ei oltu mainittu symmetrian huomioimista tuotteen suunnittelussa. Täytyy kuitenkin huomioida, että tuotteissa osat oltiin saatettu suunnitella jo alun perin mahdollisimman symmetrisiksi, jolloin sen huomioimiseen ei välttämättä ollut tarvetta.

Kolmas kaikissa tuotetapauksissa huomioitu periaate oli liitosten suunnittelu. Liitosten määrää pyrittiin vähentämään, sekä ruuviliitoksia välttämään paikoissa, joissa sitä ei tarvittu. Ajoneuvon puskurissa liitosten määrää pystyttiin vähentämään vaihtamalla metalliosista kasattu osa muovista valmistettuun. Muovista pystyttiin valmistamaan sen muotoinen osa, joka olisi ollut liian hankala tai kallis valmistaa metallista ilman liitoksia (Ni ei julkaisupäivää). Viivakoodinlukijassa yksi ruuvi voitiin poistaa suunnittelemalla tuotteen kotelo uudestaan, jolloin se teki kaikista tuotteesta jäljellä olevista ruuveista samanlaisia (Foley 2011). Ruuviliitoksissa käytetyt samanlaiset ruuvit pienentävät varastoja, sekä suoraviivaistavat kokoonpanoa. Aurinkokeräimen tapauksessa liitoksia saatiin parannettua integroimalla kiinnitinosia rungon osiin, jolloin itse kokoonpanoprosessi on asentajalle helpompi.

Osastojen välistä yhteistyötä käytettiin apuna viivakoodinlukijan, sekä ajoneuvon pusku-

rin tapauksessa. Viivakoodinlukijan tapauksessa yhteistyötä tekivät suunnitteluryhmä ja uuden tuotteen kehittämiseen tarkoitettu ryhmä (Foley 2011). Puskurin tapauksessa yhteistyötä tekivät eri tuotekehitysosastojen henkilöt, jotka kaikki analysoivat parannettavaa tuotetta (Ni ei julkaisupäivää). Viivakoodinlukijan tapauksessa henkilöt olivat hieman erityyppisistä ryhmistä, kun taas puskurin tapauksessa henkilöt oli kerätty samantlaisilta osastoilta. Tuotteen suunnittelussa olisi hyvä hyödyntää erilaista asiantuntijakokemusta omaavia ihmisiä, jolloin tuotetta analysoidaisiin mahdollisimman monesta näkökulmasta. Näissä kahdessa tapauksessa yhteistyötä kuitenkin oli, mutta aurinkokeräimen ja ilma-venttilin tapauksissa sitä ei edes mainittu.

Tietyt suunnitteluperiaatteet löytyivät kaikkien tuotteiden suunnitteluprosesseista, mutta yhdestäkään ei löytynyt kaikkia. Tuotteiden välillä oli eroja eri periaatteiden hyödyntämisessä, joka voi johtua tuotteiden erilaisuudesta. Koko teollisuutta koskevia johtopäätöksiä tämän katsauksen perusteella ei kuitenkaan voi tehdä, sillä otanta on ollut liian pieni. Tuotetapaukset antavat kuitenkin viitteitä siitä, miten kokoonpantavuuden periaatteita voi tuotteiden suunnittelussa hyödyntää.

## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli käsitellä kokoonpantavuutta parantavia suunnitteluperiaatteita ja havainnollistaa niiden käyttöä tuotetapausten avulla. Työssä esiteltiin myös yleisimpiä kokoonpantavuuden arviointimetoja, joita voidaan käyttää tuotteen kokoonpantavuuden arviointiin. Suunnitteluperiaatteita käsiteltiin melko laajasti, keskittyen kuitenkin automatisoidusti kokoonpantavan tuotteen periaatteisiin. Erilaisista suunnittelumetoista esiteltiin kolme yleisimmin käytössä olevaa, joiden lisäksi käsiteltiin kahta uudempaa metodia. Yleisimmillä metodeilla saatiin lukijalle esitettyä perustiedot suunnittelumetoista ja uudempien metodien esittelyn avulla tuotiin lukijalle viimeaikaista tietoa.

Käsitellyillä tuotetapauksilla havainnollistettiin kokoonpantavuuden suunnittelumetodien konkreettista hyödyntämistä tuotteiden suunnittelussa. Tuotetapauksissa esiteltiin tuotteita erilaisilta teollisuuden aloilta, jolla havainnollistettiin kokoonpantavuuden suunnittelun mahdollisuuksia melko laajasti. Tuotteiden suunnittelussa käytettyjä suunnitteluperiaatteita vertailtiin toisiinsa luvussa 5. Osien vähentäminen ja asentamisen helppous oli kaikissa tuotetapauksissa toistuvia suunnitteluperiaatteita. Automaattista kokoonpanoa ajatellen syötettävyyttä tai kokoonpanosuuntaa ei oltu analysoitu yhdessäkään tuotetapauksessa. Koko teollisuutta koskevia johtopäätöksiä neljän tuotetapauksen perusteella ei kuitenkaan voi tehdä.

Kokoonpantavuuden suunnittelun kehittämistä koskevaa tutkimusta löytyi viimeisen 10 vuoden ajalta vähän. Suurin osa kirjallisuudesta on 20 vuotta vanhaa, joka saattaa vaikuttaa tiedon ajantasaisuuteen. Suunnitteluperiaatteet ovat kuitenkin monet niin yleispäteviä, että ne todennäköisesti ovat edelleen ajankohtaisia. Suunnitteluperiaatteet kuitenkin luultavasti muokkautuvat aina hieman aikakauden mukaan ja valmistustekniikan kehittyessä. Selvitys suunnitteluperiaatteiden nykyisestä käytöstä teollisuudessa voisi olla tarpeen.

Suunnittelumetodien perustana oleva tieto on 1980 ja 1990-luvulta, jolloin termi DFA kehitettiin. Joidenkin metodien kehittäminen on jo lopetettu, johtuen varmaankin yritysten sulkemisesta. Metodeja on kuitenkin myös kehitetty eteenpäin, sillä varsinkin Boothroydin metodia käsittelevää teosta on uusittu säännöllisesti. Kehitystä on tapahtunut edelleen uusia metodeja kehittämällä, mutta niissäkin taustalla on usein jokin jo olemassa ollut metodi. On mahdollista, että suunnittelumetodit ovat niin ajattomia, että niiden kehittämistä on pidetty tarpeettomana. Kaikkiin yritysten sisäisessä käytössä oleviin metodeihin ei välttämättä ole ulkopuolisilla pääsyä, jolloin tietoakaan niistä ei löydy. Tutkimusta voisi suunnata eri yritysten käyttämiin suunnittelumetodeihin.

Tuotetapausten perustella kokoonpantavuuden suunnittelulla on mahdollista saavuttaa merkittäviä parannuksia tuotteen kokoonpantavuuteen ja laadunhallintaan. Ajoneuvon puskurin tapauksessa kokoonpanoaika pieneni 552 sekunnista 131 sekuntiin ja ilmaventtiilin kohdalla 8,08 minuutista 2,54 minuuttiin. Samalla myös tuotteiden laatu parani. Usein kokoonpantavuuden kehittäminen tarkoittaa myös kustannussäästöjä materiaaleissa ja varastointikuluissa. Käsitellyt tuotetapaukset ovat kuitenkin hyvin pieni otanta maailmassa kokoonpantavista tuotteista, joten yhtä suuria parannuksia ei todennäköisesti ole aina mahdollista saavuttaa.



## LÄHTEET

- Andreasen, M. M. (1988). *Design for assembly*. English. 2. Bedford: IFS.
- Appleton, E. ja Garside, J. A. (2000). A team-based design for assembly methodology. English. *Assembly Automation* 20.2, pp. 162–170.
- Boothroyd, G., Knight, W. A. ja Dewhurst, P. (2010). *Product design for manufacture and assembly*. English. Third. Vol. 74. CRC Press.
- Dalglish, G. F., Jared, G. E. M. ja Swift, K. G. (2000). Design for assembly: Influencing the design process. English. *Journal of Engineering Design* 11.1, pp. 17–29.
- Eteläaho, P. et al. (1999). *DFA suunnitteluapuvälineenä*. fin. Raportti. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- Foley, C. (2011). *Boothroyd and Dewhurst's DFA Software Drives Cost Savings for Motorola's DS9208 Scanner*. URL: <https://www.dfma.com/resources/motorola.asp> (viitattu 28.01.2020).
- Iwaya, L. H., Rosso, R. S. U. ja Hounsell, M. d. S. (2013). A Design for Assembly application with dynamic information retrieval from case database. English. *IFAC Proceedings Volumes* 46.7, pp. 186–191.
- Kauppinen, V. (1983). *Tuotteen suunnittelu kokoonpanoa silmälläpitäen*. Finnish; Swedish. Vol. 9/83. Hki: Metalliteollisuuden kustannus.
- Kocabiçak, Ü. (1999). Optimization of the Mechanical Component Design using Design for Assembly Techniques. English. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 3, pp. 35–42.
- Leaney, P. G. ja Wittenberg, G. (1992). Design For Assembling: The Evaluation Methods Of Hitachi, Boothroyd And Lucas. English. *Assembly Automation* 12.2, pp. 8–17.
- Lempiäinen, J. ja Savolainen, J. (2003). *Hyvin suunniteltu - puoliksi valmistettu: lyhyt johdatus tuotteiden valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen*. Finnish. Helsinki: Suomen robotiikkayhdistys.
- Miles, B. L. ja Swift, K. (1998). Design for Manufacture and Assembly. *Manufacturing Engineer* 77.5, pp. 221–224.
- Moultrie, J. ja Maier, A. M. (2014). A simplified approach to design for assembly. English. *Journal of Engineering Design* 25.1-3, pp. 44–63.
- Ni, W. (ei julkaisupäivää). Re-design on Vehicle Front Support Structure Using DFMA (). (viitattu: 27.01.2020). URL: <https://www.dfma.com/pdf/wanpaper.pdf>.
- Ohashi, T., Iwata, M., Arimoto, S. ja Miyakawa, S. (2002). Extended Assemblability Evaluation Method (AEM); (Extended Quantitative Assembly Producibility Evaluation for Assembled Parts and Products). *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing* 45.2, pp. 567–574.
- Remirez, A., Ramos, A., Retolaza, I., Cabello, M., Campos, M. ja Martinez, F. (2019). New design for assembly methodology adapted to large size products: Application on a solar tracker design. English. *Procedia CIRP* 84, pp. 468–473.

Sähkö- ja elektroniikkateollisuusliitto (1988). *Automaattisesti kokoonpantavan tuotteen suunnitteluohjeita*. fin. Tekninen tiedotus / Suomen metalliteollisuuden keskusliitto. Hki: Metalliteollisuuden kustannus, 37 s.

Vranson, D. M. (2011). *How to manufacture success: Here's your plan...* URL: <https://www.dfma.com/resources/itt.asp> (viitattu 27. 01. 2020).